

16.12.2004

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 1 2 月 1 8 日
Date of Application:

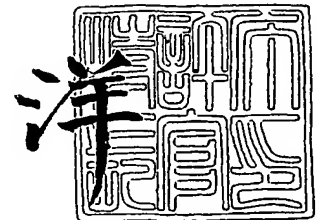
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 4 2 1 1 1 1
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 4 2 1 1 1 1]

出 願 人 松 下 電 器 産 業 株 式 会 社
Applicant(s):

2 0 0 5 年 2 月 3 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願
【整理番号】 2925050114
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01L 27/14
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内
 【氏名】 歳清 公明
【特許出願人】
 【識別番号】 000005821
 【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100109210
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 新居 広守
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 049515
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 0213583

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

面内方向に周期幅が一定で分割された複数のゾーンごとに、前記周期幅に対して線幅の合計の占める割合が互いに異なる、同心形状を有する光透過膜を備えることを特徴とする集光素子。

【請求項 2】

各前記ゾーンにおいて、前記光透過膜は1つであることを特徴とする請求項 1 記載の集光素子。

【請求項 3】

各前記ゾーンにおいて、前記光透過膜の外周は前記ゾーンの外周と一致していることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の集光素子。

【請求項 4】

各前記ゾーンにおいて、前記光透過膜の内周は前記ゾーンの内周と一致していることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の集光素子。

【請求項 5】

各前記ゾーンにおいて、前記光透過膜の前記線幅の合計が、隣接する内側のゾーンの光透過膜の線幅の合計より小さいことを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか1項に記載の集光素子。

【請求項 6】

前記同心形状は円であることを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれか1項に記載の集光素子。

【請求項 7】

入射光の波長を λ 、焦点距離を f 、前記周期幅を a 、前記光透過膜の実効屈折率を n 、 m を非負の整数、および、フレネルゾーン境界を r_m (すなわち、 $r_m^2 = 2m\lambda f/n$ を満たす非負の数) とするとき、

r_m より大きく r_{m+1} より小さい r を内周の半径とする前記ゾーン内の前記光透過膜の前記線幅の合計 W は、

$$W = a(1 + m - nr^2 / (2\lambda f))$$

を満たす

ことを特徴とする請求項 6 記載の集光素子。

【請求項 8】

前記光透過膜の法線方向の高さが一定であることを特徴とする請求項 1 ～ 7 のいずれか1項に記載の集光素子。

【請求項 9】

前記光透過膜の法線方向の断面形状が矩形であることを特徴とする請求項 1 ～ 8 のいずれか1項に記載の集光素子。

【請求項 10】

前記光透過膜は、屈折率が1.45以上3.4以下の高屈折透明材料からなることを特徴とする請求項 1 ～ 9 のいずれか1項に記載の集光素子。

【請求項 11】

前記光透過膜は、 TiO_2 、 ZrO_2 、 Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 、 Si_3N_4 および Si_2N_3 の中のいずれかを含むことを特徴とする請求項 1 ～ 10 のいずれか1項に記載の集光素子。

【請求項 12】

前記光透過膜は、BまたはPが添加された SiO_2 (BPSG) およびTEOSの中のいずれかを含むことを特徴とする請求項 1 ～ 10 のいずれか1項に記載の集光素子。

【請求項 13】

前記光透過膜は、ベンゾシクロブテン、ポリメタクリル酸メチル、ポリアミドおよびポリイミドの中のいずれかを含む

ことを特徴とする請求項 1 ～ 10 のいずれか1項に記載の集光素子。

【請求項 14】

単位画素が複数設置された固体撮像装置であって、
入射光を集光する請求項 1 記載の集光素子と、
前記集光素子で集光された光を入射し、電荷に変換する受光素子とを備える
ことを特徴とする固体撮像装置。

【請求項 15】

少なくとも、前記入射光のうち第1の色光用の第1の単位画素と、
前記第1の色光の代表波長とは異なる代表波長を有する第2の色光用の第2の単位画素と
を備え、
前記第1の単位画素は、第1の集光素子を備え、
前記第2の単位画素は、前記第2の色光の焦点距離が前記第1の集光素子の前記第1の色
光の焦点距離と等しい第2の集光素子を備える
ことを特徴とする請求項 14 記載の固体撮像装置。

【請求項 16】

前記焦点距離は、各前記ゾーン内の前記光透過膜の前記線幅の合計を異ならせることに
より、所定の値に設定されている
ことを特徴とする請求項 15 記載の固体撮像装置。

【請求項 17】

前記集光素子は、各前記ゾーン内の前記光透過膜の前記線幅の合計を異ならせることに
より、最も光強度の大きい入射角度を有する光の前記受光素子における集光効率が所定値
以上になるように設定されている
ことを特徴とする請求項 14～16 のいずれか1項に記載の固体撮像装置。

【請求項 18】

さらに、前記単位画素は、前記集光素子の出射面側に、前記受光素子の上部を開口部と
する配線層を備え、
前記集光素子で集光された光の焦点が、前記配線層の前記開口部の位置と一致している
ことを特徴とする請求項 15～17 のいずれか1項に記載の固体撮像装置。

【請求項 19】

前記複数の単位画素が、2次元状に配列されている
ことを特徴とする請求項 15～18 のいずれか1項に記載の固体撮像装置。

【請求項 20】

前記複数の単位画素が形成された面の中央に位置する前記単位画素の集光素子と、周辺
に位置し、前記中央に位置する単位画素と同一の色用の単位画素の集光素子では、各前記
ゾーン内の前記光透過膜の前記線幅の合計が異なっている
ことを特徴とする請求項 19 記載の固体撮像装置。

【請求項 21】

前記複数の単位画素が形成された面の中央から周辺にかけて複数の同心状の領域で分割
され、同一の領域内に属する前記単位画素の前記集光素子の焦点距離は等しく、前記同一
の領域外に属する前記単位画素の前記集光素子の焦点距離とは異なる
ことを特徴とする請求項 19 または 20 記載の固体撮像装置。

【請求項 22】

前記複数の単位画素が形成された面の中央に位置する前記単位画素では、前記受光素子
の中心軸と前記集光素子の中心軸が一致するように形成され、周辺に位置する前記単位画
素では、前記受光素子の中心軸より前記集光素子の中心軸が前記面の中央寄りに形成され
ている

ことを特徴とする請求項 19～21 のいずれか1項に記載の固体撮像装置。

【請求項 23】

請求項 1 記載の集光素子の製造方法であって、
前記光透過膜を、最小加工寸法 1 nm 以下の金型を用いたナノインプリントにより形成
する工程を含む
ことを特徴とする集光素子の製造方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】集光素子、固体撮像装置および集光素子の製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、デジタルカメラ等に使用される集光素子、固体撮像装置および集光素子の製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

デジタルカメラやカメラ付携帯電話等の普及に伴い、固体撮像装置の市場は著しく拡大している。このような流れの中、固体撮像装置の高解像度化や高感度化はさらに加速していくと考えられる。

現在、固体撮像装置として広く使用されているCCDやMOSイメージセンサでは、複数の受光部分を有する半導体集積回路を2次元状に配列して、被写体からの光信号を電気信号に変換している。

【0003】

固体撮像素子の感度は、入射光量に対する受光素子の出力電流の大きさによって定義されていることから、入射した光を確実に受光素子に導入することが感度向上のため重要な要素となっている。

従来の一般的な画素の構造の一例を図15に示す。固体撮像装置（青用単位画素）70は、入射光を集光するマイクロレンズ33、青色（B）を色分離して透過させるカラーフィルタ2、入射光を電荷に変換する受光素子（Siフォトダイオード）6、電荷を転送するための電気信号伝送部4、Al配線3、平坦化層5、およびSi基板7を備える。赤色（R）および緑色（G）用の固体撮像装置についても、カラーフィルタ2のみが異なることを除いて同じ構成である。このような構成は、比較的高い集光効率を得られることから、マイクロレンズ33はほとんど全ての固体撮像装置において使用されている。

【0004】

一方、フレネルレンズを利用した固体撮像装置として、様々な技術が開示されている（例えば、特許文献1および2参照。）。

特許文献1に開示された技術では、レンズは同心円状に異なる屈折率をもつ複数の層からなり、中心部が最も屈折率が高く、周辺部になるにつれて順に屈折率が減少するように構成されている。また、特許文献2に開示された技術では、厚さ分布型レンズと、ドーピングによって連続的に屈折率分布を持たせた分布屈折率型レンズが利用されている。

【特許文献1】特開2000-39503号公報

【特許文献2】特開平5-251673号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

今後、固体撮像装置の高解像度化や高感度化を進めていくためには、集光効率を損なうことなく、画素を小型化する必要がある。しかしながら、マイクロレンズはマイクロメートルオーダーの非常に微細な構造であり、リフローで自己組織化的に形成されるため、小型化を行おうとする場合、球面形状の形成の制御が非常に困難である。

【0006】

また、マイクロレンズでは、集光効率が信号光の入射角度に依存して低下するという問題がある。つまり図15に示すように、マイクロレンズ33に垂直に35については高効率に集光することができるが、斜め入射の光34に対しては、十分な集光ができないため集光効率が減少する。

図16は、従来の画素配列の基本構造を示す図である。入射光26は、光学レンズ27により焦点距離上に設置された固体撮像装置28に入射する。固体撮像装置28は複数の画素の2次元配列で構成されているため、広がり角を持つ入射光の場合、中央画素と周辺画素とでは入射角が異なる。その結果、周辺の画素の集光効率が中央より低下するという問題が起こ

る。

【0007】

図17に従来の周辺部の画素の構造の一例を示す。固体撮像装置80の周辺部の画素では入射光34の入射角度が大きくなるため、受光素子6、電気信号伝送部4およびA1配線3といった電気配線部分を内側（中央）方向にずらす、すなわちシュリンクさせることによって、集光効率の向上を図っている。しかしながら、周辺画素の光量は中央部分の約40%程度であり、素子全体の感度は周辺素子の感度に律速されているのが現状である。また、この値は画素サイズの減少に伴ってさらに低下するため、小型カメラのような短焦点光学系への応用が非常に困難になる。さらに固体撮像装置の製造工程においては、マイクロレンズ33、受光素子6、電気信号伝送部4およびA1配線3の位置合わせが必要となる。

【0008】

そこで、本発明は、固体撮像装置の高解像度化や高画質化を実現するために、マイクロレンズよりも高角度光入射に強い集光素子、および、その集光素子の製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記目的を達成するために、本発明に係る集光素子は、面内方向に周期幅が一定で分割された複数のゾーンごとに、前記周期幅に対して線幅の合計の占める割合が互いに異なる、同心形状を有する光透過膜を備えることを特徴とする。

さらに、各前記ゾーンにおいて、前記光透過膜は1つであることを特徴とする。

さらに、各前記ゾーンにおいて、前記光透過膜の外周は前記ゾーンの外周と一致していることを特徴とする。

【0010】

また、各前記ゾーンにおいて、前記光透過膜の内周は前記ゾーンの内周と一致していることを特徴とする。

これにより、同心円の円周幅（線幅）の合計を変化させることによって、有効屈折率を変化させることができる分布屈折率型集光素子を実現できる。

さらに、各前記ゾーンにおいて、前記光透過膜の前記線幅の合計が、隣接する内側のゾーンの光透過膜の線幅の合計より小さいことを特徴とする。

【0011】

これにより、透過膜の有効屈折率は集光素子の中央から周辺に向かって減少するようになるので、集光特性を有する分布屈折率型集光素子を実現できる。

さらに、前記同心形状は円であることを特徴とする。

入射光の波長を λ 、焦点距離を f 、前記周期幅を a 、前記光透過膜の実効屈折率を n 、 m を非負の整数、および、フレネルゾーン境界を r_m （すなわち、 $r_m^2 = 2m\lambda f/n$ を満たす非負の数）とすると、 r_m より大きく r_{m+1} より小さい r を内周の半径とする前記ゾーン内の前記光透過膜の前記線幅の合計 W は、

$$W = a(1 + m - nr^2 / (2\lambda f))$$

を満たすことを特徴とする。

【0012】

これにより、ある波長をもつ入射光の焦点距離を形状のみで指定でき、半導体リソグラフィプロセスで分布屈折率型集光素子を形成できる。

前記光透過膜の法線方向の高さが一定であることを特徴とする。

さらには、集光素子の膜厚が均一であることから、従来の半導体プレーナープロセスによって集光素子の形成が可能であり、製造コストを低減させることができる。

【0013】

前記光透過膜の法線方向の断面形状が矩形であることを特徴とする。

これにより、従来型のレンズよりもより鋭い屈折率変化が生じ、集光効率が高まる。

さらに、前記光透過膜は、屈折率が1.45以上3.4以下の高屈折透明材料からなることを特徴とする。

さらに、前記光透過膜は、 TiO_2 、 ZrO_2 、 Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 、 Si_3N_4 および Si_2N_3 の中のいずれかを含むことを特徴とする。

【0014】

これらは高屈折率材料であるため、光透過膜の膜厚を薄くでき、製造プロセスが容易になる。

また、前記光透過膜は、BまたはPが添加された SiO_2 (BPSG(Boro-Phospho Silicated Glass)) および TEOS (Tetraethoxysilane) の中のいずれかを含むことを特徴とする。

これらは従来の半導体プロセスで一般的に使用されている材料であるので、集光素子の容易な形成が可能であり、製造コストを低減させることができる。

【0015】

また、前記光透過膜は、ベンゾシクロブテン、ポリメタクリル酸メチル、ポリアミドおよびポリイミドの中のいずれかを含むことを特徴とする。

樹脂は直接加工でき、ナノインプリントで直接集光素子を形成できるため、量産性が高まる。

また、単位画素が複数設置された固体撮像装置であって、入射光を集光する本発明に係る集光素子と、前記集光素子で集光された光を入射し、電荷に変換する受光素子とを備えることを特徴とする。

【0016】

これにより、マイクロレンズを用いることなく、画素の集光効率を向上させることができる。従って、高解像度、高感度な固体撮像装置を実現できる。

さらに、少なくとも、前記入射光のうち第1の色光用の第1の単位画素と、前記第1の色光の代表波長とは異なる代表波長を有する第2の色光用の第2の単位画素とを備え、前記第1の単位画素は、第1の集光素子を備え、前記第2の単位画素は、前記第2の色光の焦点距離が前記第1の集光素子の前記第1の色光の焦点距離と等しい第2の集光素子を備えることを特徴とする。

【0017】

これにより、入射光の波長によって各画素のレンズ構造を最適化することが可能となり、色による集光効率の違いを無くすることができる。

さらに、前記焦点距離は、各前記ゾーン内の前記光透過膜の前記線幅の合計を異ならせることにより、所定の値に設定されていることを特徴とする。

これにより、入射光の焦点距離が可変となり、各画素構造に適したレンズ設計が可能となる。

【0018】

さらに、前記集光素子は、各前記ゾーン内の前記光透過膜の前記線幅の合計を異ならせることにより、最も光強度の大きい入射角度を有する光の前記受光素子における集光効率が所定値以上になるように設定されていることを特徴とする。

これにより、入射光の入射角度によって各画素のレンズ構造を最適化することが可能となり、入射角度の増加に伴う集光効率の低下を無くすることができる。

【0019】

さらに、前記単位画素は、前記集光素子の出射面側に、前記受光素子の上部を開口部とする配線層を備え、前記集光素子で集光された光の焦点が、前記配線層の前記開口部の位置と一致していることを特徴とする。

これにより受光面を最大限に使用でき、集光効率が高くなる。

さらに、前記複数の単位画素が、2次元状に配列されていることを特徴とする。

【0020】

これにより、感度の高い二次元画像入力装置が実現できる。

さらに、前記複数の単位画素が形成された面の中央に位置する前記単位画素の集光素子と、周辺に位置し、前記中央に位置する単位画素と同一の色用の単位画素の集光素子では、各前記ゾーン内の前記光透過膜の前記線幅の合計が異なっていることを特徴とする。

これにより、固体撮像装置上の画素の位置によって、レンズ構造を最適化することが可

能となり、固体撮像装置のシュリンク構造を緩和させることができる。また、集光素子の製造方法が容易となり、集光素子全体の感度も向上する。

【0021】

さらに、前記複数の単位画素が形成された面の中央から周辺にかけて複数の同心状の領域で分割され、同一の領域内に属する前記単位画素の前記集光素子の焦点距離は等しく、前記同一の領域外に属する前記単位画素の前記集光素子の焦点距離とは異なることを特徴とする。

これにより、プロセスの容易性を失うことなく、入射角を面内で変えることができる。

【0022】

さらに、前記複数の単位画素が形成された面の中央に位置する前記単位画素では、前記受光素子の中心軸と前記集光素子の中心軸が一致するように形成され、周辺に位置する前記単位画素では、前記受光素子の中心軸より前記集光素子の中心軸が前記面の中央寄りに形成されていることを特徴とする。

これにより、低度のシュリンク構造をとることができ、周辺画素の集光効率がより向上する。

【0023】

さらに、本発明に係る集光素子の製造方法であって、前記光透過膜を、最小加工寸法 1 nm 以下の金型を用いたナノインプリントにより形成する工程を含むことを特徴とする。

これにより、微細な同心構造を容易に大量形成することが可能となる。また各画素間の相対位置のズレがなくなり、調整作業の工程が減り、集光素子の低価格化が実現できる。

【発明の効果】

【0024】

本発明に係る集光素子および固体撮像装置は、同心円の円周幅（線幅）の合計を変化させることによって、有効屈折率を変化させることができる分布屈折率型集光素子を実現できる。また、ある波長をもつ入射光の焦点距離を形状のみで指定でき、半導体リソグラフィプロセスで分布屈折率レンズを形成できる。また、従来型のレンズよりもより鋭い屈折率変化が生じ、集光効率が高まる。

【0025】

また、高屈折率材料を用いるため、光透過膜の膜厚を薄くでき、製造プロセスが容易になる。

また、マイクロレンズを用いることなく、画素の集光効率を向上させることができる。従って、高解像度、高感度な固体撮像装置を実現できる。また、入射光の波長によって各画素のレンズ構造を最適化することが可能となり、色による集光効率の違いを無くすることができる。また、入射光の焦点距離が可変となり、各画素構造に適したレンズ設計が可能となる。また、入射光の入射角度によって各画素のレンズ構造を最適化することが可能となり、入射角度の増加に伴う集光効率の低下を無くすることができる。また、受光面を最大限に使用でき、集光効率が高くなる。

【0026】

また、感度の高い二次元画像入力装置が実現できる。固体撮像装置上の画素の位置によって、レンズ構造を最適化することが可能となり、固体撮像装置のシュリンク構造を緩和させることができる。また、集光素子の製造方法が容易となり、集光素子全体の感度も向上する。また、プロセスの容易性を失うことなく、入射角を面内で変えることができる。また、低度のシュリンク構造をとることができ、周辺画素の集光効率がより向上する。

【0027】

さらに、本発明に係る集光素子の製造方法により、微細な同心構造を容易に大量形成することが可能となる。また各画素間の相対位置のズレがなくなり、調整作業の工程が減り、集光素子の低価格が実現できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0028】

以下、図面を用いて本発明の実施の形態をさらに具体的に説明する。

(実施の形態 1)

図1は、本発明の実施の形態1に係る単位画素の基本構造を示す図である。固体撮像装置（青用単位画素）71は、サイズが2.25mm角であり、入射光9を集光する分布屈折率レンズ1、青色光（B）を色分離して透過させるカラーフィルタ2、入射光を電荷に変換する受光素子（Siフォトダイオード）6、電荷を転送するための電気信号伝送部4、Al配線3、平坦化層5、およびSi基板7を備える。

【0029】

図2は、本発明の実施の形態1に係る分布屈折率レンズの上面構造を示す図である。この同心円構造は、高屈折率材料101[TiO₂ (n=2.53)]と低屈折率材料102[空気(n=1.0)]で構成されており、複数の隣り合うゾーンの半径差103は一定の200nmである。図2では、分布屈折率レンズ1は、各ゾーンにおいて光透過膜は1つであり、光透過膜101の外周はゾーンの外周と一致している。

【0030】

図3(a)～(c)は、本発明の実施の形態1に係る分布屈折率レンズの断面構造を示す図である。図3(a)では、分布屈折率レンズ1は、各ゾーンにおいて光透過膜は1つであり、光透過膜101の外周はゾーンの外周と一致している。図3(b)では、分布屈折率レンズ1aは、各ゾーンにおいて光透過膜101は1つであり、光透過膜101の内周は前記ゾーンの内周と一致している。図3(c)では、分布屈折率レンズ1bは、各ゾーンにおいて光透過膜101は1つとは限らず2つ以上のゾーンもある。

【0031】

いずれの分布屈折率レンズにおいても、各同心円の円周幅（線幅）の合計104は集光素子の中央部分が最も大きく、外側のリングになるに従って、円周幅の合計104は順に小さくなっていく。また、分布屈折率レンズ1、1a、1bでは、対応するゾーンの円周幅の合計104は同じになっている。すなわち、線幅104aと線幅104bの合計は線幅104の長さと等しい。なお、いずれの集光素子においても、膜厚は1μmで一定である。

【0032】

周期が入射光の波長と同程度か小さいときには、光が感じる有効屈折率 n_{eff} は、

$$n_{eff} = [Wn_h + (a-W)n_l] / a \quad (1)$$

で表すことができる。ここで、Wは同心円の円周幅、aは隣り合う円型光透過膜の外周の半径差を、 n_h および n_l はそれぞれ高屈折率材料および低屈折率材料の屈折率である。

図4は、本発明の実施の形態1に係る分布屈折率レンズの屈折率分布を示す図である。分布屈折率レンズの屈折率は、画素中央部分が最も高く、端になるに従って順に低くなるような階段状の特性になる。なお、図に示された放物線は、波長 λ (550nm)の入射光を焦点距離 f (4.43μm)で集光させるための屈折率分布を示しており、次の式で表される（例えば、『光集積回路』、オーム社、西原浩共著、1993年8月発行、p.299参照）。

【0033】

$$\Delta n(x) = \Delta n [1 + m - nr^2 / (2\lambda f)] \quad (2)$$

ここで、 Δn はレンズ材料の屈折率差（本実施の形態の場合は1.53）、 n は円径光透過膜を構成する材料の実効屈折率である。

【0034】

(1) および (2) 式から、円型光透過膜の外周の半径が r である円径光透過膜の円周幅 W は、

$$W = a(1 + m - nr^2 / (2\lambda f)) \quad (3)$$

ただし、 $m = 0, 1, 2, \dots$

および、 $r_m < |r| < r_{m+1}$ であり、

フレネルゾーン境界 $r_m > 0$ は、

$$r_m^2 = 2m\lambda f / n$$

を満たす。なお、本発明に係る分布屈折率レンズの屈折率分布は、各周期における放物線の中心値をとるように設計している。

【0035】

(3) 式からも明らかなように、本発明に係る集光素子の最大の特長は、円周幅 W を変えるだけで、焦点を自由自在に決定できることであり、特定の波長をもつ光に対応した分布屈折率レンズを実現できることである。

例えば図1に示した実施の形態において、分布屈折率レンズの集光率は約97%であり、マイクロレンズの場合の集効率90%よりも高い集光効率を実現している。

【0036】

以上のように、同心円の円周幅（線幅）の合計を変化させることによって、有効屈折率を変化させることができる分布屈折率型集光素子が実現できる。

【0037】

(実施の形態2)

図5(a)～(c)は、本発明の実施の形態2に係る単位画素の基本構造を示す図である。固体撮像装置の各画素に垂直に入ってきたB光10、G光11およびR光12は、それぞれB用分布屈折率レンズ105、G用分布屈折率レンズ106およびR用分布屈折率レンズ107によって集光され、B用カラーフィルタ13、G用カラーフィルタ14およびR用カラーフィルタ15を通過して、各受光部で電気信号への変換が行われる。本発明に係る分布屈折率レンズ105～107では、入射光10～12の波長によって各画素のレンズ構造を最適化することが可能であることから、色による集光効率の違いはなくなり高効率に集光することができる。すなわち、B用レンズ105では同心円の円周幅の減少率が大きいものに対して、G用レンズ106、R用レンズ107となるにつれて緩やかに円周幅を減少させている。これは、(2)式にも示したように、屈折率分布が入射光の波長 λ に反比例するためである。

【0038】

図6(a)～(c)は、本発明の実施の形態2に係る分布屈折率レンズの屈折率分布を示す図である。つまり、図6(b)に示した緑用の屈折率変化17を中心にして、図6(a)に示すように波長が短い（青色側）ほど屈折率変化16は大きく、図6(c)に示すように波長が長い（赤色側）ほどブロードな分布18にしている。

以上のように、ある波長をもつ入射光の焦点距離を形状のみで指定でき、半導体リソグラフィプロセスで本発明に係る分布屈折率レンズを形成できる。

【0039】

(実施の形態3)

図7は、本発明の実施の形態3に係る単位画素の基本構造を示す図である。固体撮像装置72に垂直に入ってきた入射光9は、分布屈折率レンズ1によって集光され、カラーフィルタ2を通過して、受光部（図では省略している。）へ到達する。このとき、入射光9の焦点距離19はこれまでに説明したとおり各画素の集光素子のレンズ構造によって可変である。

【0040】

図8(a)～(c)は、本発明の実施の形態3に係る分布屈折率レンズの屈折率分布を示す図である。図8(b)に示す中焦点用レンズの屈折率変化21を中心として、図8(a)に示すように短焦点用レンズでは屈折率変化20が大きく、図8(c)に示すように長焦点レンズでは緩やかな分布22となるように、各分布屈折率レンズの構造を設計している。

図9(a)～(c)は、本発明の実施の形態3に係る分布屈折率レンズの集光特性を示す図である。図には、焦点距離を2.7～4.5 μm の間で変化させたときの、各画素中における光伝播プロファイルのシミュレーション結果が示されている。図9(a)、(b)および(c)の順で設定距離が長くなるにつれて、光束の収束位置（各図の右側に矢印で示している）が受光素子側（すなわち図の上方側）に移行していく様子が確認できる。これは、(2)式に従って集光素子のレンズ構造を変化させることによって、焦点距離の制御が可能であることを示唆している。

【0041】

高解像度を達成するためには、画素の高密度化が必要となる。しかしながら、画素サイズの減少に伴って、受光素子であるフォトダイオードの面積は小さくなるが、Al配線の面積はほとんど変わらない。そのため、入射側の配線部分による遮光面積が広くなり（つま

り入口が狭くなり)、集光効率は低下する。例えば、画素サイズ $2.25\mu\text{m}$ で開口率24%程度である。このとき、焦点距離を配線部3の位置(高さ)に設定することにより、受光部6に到達する光量は増加し、集光効率は著しく改善する。例えば、上の例では集光率90%にも達する。

【0042】

以上のように、本発明に係る集光素子は、その構造により入射光の焦点距離が可変となり、各画素構造に適したレンズ設計が可能となる。

【0043】

(実施の形態4)

図10は、本発明の実施の形態4に係る単位画素の基本構造を示す図である。固体撮像装置73に特定の角度 q で入ってきた入射光9は、分布屈折率レンズ1によって集光され、カラーフィルタ2を通過して、受光部6へ到達する。分布屈折率レンズ1のパラメータである焦点距離、波長および膜厚を変化させることによって、高角度入射に強いレンズが形成されている。例えば、本実施の形態では、入射角 30° のG光($\lambda=550\text{nm}$)に対して、焦点距離2.9mm、レンズ長0.9mmの分布屈折率レンズを形成している。このときの集光効率は50%であり、マイクロレンズの約5倍の集光効率となっている。

【0044】

図11は、本発明の実施の形態4に係る分布屈折率レンズの集光特性を示す図である。図からも明らかなように、本発明に係る分布屈折率レンズは、従来のマイクロレンズと比較して、入射光の角度依存性に強いことがわかる。例えば、入射角度が 5° 以上になるとマイクロレンズでは集光効率が低下しはじめるのに対し、分布屈折率レンズでは 10° 程度まで90%を保っている。また、入射角度が 20° ではマイクロレンズでは約30%であるのに対し分布屈折率レンズでは70%以上である。さらに、入射角度が 30° ではマイクロレンズでは約10%であるのに対し、分布屈折率レンズでは50%を保っている。

【0045】

以上のように、本発明に係る固体撮像装置は、入射角度の増加に伴う集光効率の低下を緩和することができることから、携帯電話用カメラ等の短焦点光学系への応用が期待できる。

以上のように、本発明に係る集光素子では、入射光の入射角度によって各画素のレンズ構造を最適化することが可能となり、入射角度の増加に伴う集光効率の低下を無くすることができる。

【0046】

(実施の形態5)

図12(a)～(c)は、本発明の実施の形態5に係る固体撮像装置の基本構造を示す図である。本固体撮像装置は、31万画素のVGAを使用している。図12(a)に示すように、信号光26は光学レンズ27によって集光され、分布屈折率レンズを有する固体撮像装置28上に照射される。受光素子および配線等からなる半導体集積回路8ならびに分布屈折率レンズが二次元状に配列している固体撮像装置28においては、中心部分の画素と周辺部分の画素とでは、光の入射角度が異なる。図12(b)に示すように、固体撮像装置28の中心部分の画素では入射光31はほぼ 0° で入射するのに対して、図12(c)に示すように、周辺部分の画素では入射光32は約 30° で入射する。

【0047】

そこで、本実施の形態では、固体撮像装置28の中央から周辺部分にかけて段階的に4種類の分布屈折率レンズを、同心形状にて形成する。それぞれの分布屈折率レンズは、固体撮像装置28上の画素の位置によって、レンズ構造を最適化し、最も集光効率が高くなるようにする。すなわち、図12(b)に示すように、中心部に位置する画素の分布屈折率レンズ29は、通常のレンズ構造であるが、図12(c)に示すように、周辺部に位置する画素の分布屈折率レンズ30は、斜め入射光に対応するため、通常より円周幅を小さくすることにより、屈折率変化が大きくなるようにしてある。これにより、周辺部に位置する画素であっても高い集光効率を達成することができる。

【0048】

なお、本実施の形態では、半導体集積回路のシュリンクは行っていない。また、4段階でなくても2、3あるいは5段階以上の各領域で分布屈折率レンズを最適形状に形成するようにしてももちろんよい。

図13は、本発明の実施の形態5に係る分布屈折率レンズの集光特性を示す図である。入射角度の増加は、画素の位置が固体撮像装置の端（周辺）方向であることを示唆している。図には本発明の効果の比較として、従来のマイクロレンズ構造を有し、半導体集積回路のシュリンクを行っている固体撮像装置のデータを併記して示している。図からも明らかなように、本発明に係る分布屈折率レンズを有する固体撮像装置では、シュリンクを行っていないにもかかわらずシュリンクを行っている固体撮像装置と同程度の、例えば入射角度が30°でも50%程度という集光効率を達成している。さらに、入射角度が20°以内では、シュリンクを行っている固体撮像装置以上の集光効率を得ることに成功している。例えば、入射角度が20°の場合、シュリンクを行っている固体撮像装置では80%程度であるのに対して、本発明に係る分布屈折率レンズを有する固体撮像装置では90%程度という集光効率を達成している。このことはシュリンクフリーの固体撮像装置の製造が可能であることを示唆している。

【0049】

また、さらに本発明に係る固体撮像装置に対して、低度のシュリンクを施す対応をするだけで、集光効率が画素位置に依存しない高感度の固体撮像装置が実現できることが期待できるので、本発明に係る分布屈折率レンズを有する固体撮像装置の有用性は極めて高い。

【0050】

（実施の形態6）

図14(a)～(d)は、本発明の実施の形態1～5に係る固体撮像装置の製造工程を示す図である。以下に説明するように、本発明に係る分布屈折率レンズの形成はナノインプリンティングとエッチングによって行う。

【0051】

図14(a)に示すように、まず通常の半導体プロセスを用いて、Si基板上に受光素子、および配線、遮光層、信号伝送部等（図14では省略している）からなる半導体集積回路8、カラーフィルタ2および平坦化層5を順次形成する。なお、1画素のサイズは、2.25 μm 角であり、受光部は1.1 μm 角である。その後、プラズマCVDを用いて、平坦化層5の上部にTiO₂膜201を形成し、その上部にレジスト200を塗布する。なお、TiO₂膜201とレジスト200の厚みはそれぞれ0.8 μm と1 μm である。

【0052】

次に図14(b)に示すように、同心円構造をパターンニングしてあるSiC製のモールド（金型）202を、レジスト200に150℃で加熱プレスすることによって、微細構造をレジスト200上に転写する。なお、モールドは通常の電子線ビームリソグラフィーとエッチングによって形成したものである。

その後、図14(c)に示すように、180℃でポストバークを行った後、Arイオンミリングによって、第一段階のエッチング203を行う。次に図14(d)に示すように、レジスト200を除去した後、ウェットエッチング204によって画素上に同心円構造を有する分布屈折率レンズを形成する。以上の工程により本発明に係る固体撮像装置が形成できる。

【0053】

このように、本発明に係る集光素子の製造方法により、微細な同心構造を容易に大量形成することが可能となる。また各画素間の相対位置のズレがなくなり、調整作業の工程が減り、集光素子の低価格が実現できる。

以上説明を行った実施の形態2～5におけるレンズは、最小加工寸法1nm以下の金型を用いたナノプリンティング法によって形成しており、TiO₂と空気の屈折率差を利用した分布屈折率レンズである。

【0054】

また、光透過膜は、屈折率が1.45以上3.4以下の高屈折透明材料を用いるのが望ましい。さらに、光透過膜は、 TiO_2 (屈折率2.3~2.55)、 ZrO_2 (2.05)、 Nb_2O_5 (2.2)、 Ta_2O_5 (2.1)、 Si_3N_4 (2.0) および Si_2N_3 の中のいずれかを用いるのが望ましい。これらは高屈折率材料であるため、光透過膜の膜厚を薄くでき、製造プロセスが容易になる。

また、光透過膜は、BまたはPが添加された SiO_2 (BPSG(Boro-Phospho Silicated Glass)) およびTEOS (Tetraethoxysilane) の中のいずれかを用いるのが望ましい。これらは従来の半導体プロセスで一般的に使用されている材料であるので、集光素子の容易な形成が可能であり、製造コストを低減させることができる。

【0055】

また、光透過膜は、ベンゾシクロブテン (1.5)、ポリメタクリル酸メチル (1.55)、ポリアミド (1.53) およびポリイミド (1.58) の中のいずれかを用いるのが望ましい。樹脂は直接加工でき、ナノインプリントで直接集光素子を形成できるため、量産性が高まる。

。なお、実施の形態1~5では、CCDを用いているが、MOSセンサを用いてももちろんよい。また、説明を行った分布屈折率レンズと同じ特性をもつ、他の材料によって形成された分布屈折率レンズを用いてももちろんよい。また、説明を行った以外の製造方法を用いて分布屈折率レンズを製造してももちろんよい。また、低屈折率材料には空気を用いたが、他の材料を用いてもよい。また、光透過膜の形状は円でなくても多角形や楕円などの同心形状であってももちろんよい。

【産業上の利用可能性】

【0056】

本発明に係る集光素子および固体撮像装置は、デジタルビデオカメラ、デジタルスチルカメラ、カメラ付携帯電話等の性能向上、低価格化を実現でき、産業上有用である。

【図面の簡単な説明】

【0057】

【図1】 本発明の実施の形態1に係る単位画素の基本構造を示す図である。

【図2】 本発明の実施の形態1に係る分布屈折率レンズの上面構造を示す図である。

【図3】 (a) ~ (c) は、本発明の実施の形態1に係る分布屈折率レンズの断面構造を示す図である。

【図4】 本発明の実施の形態1に係る分布屈折率レンズの屈折率分布を示す図である。

。【図5】 (a) ~ (c) は、本発明の実施の形態2に係る単位画素の基本構造を示す図である。

【図6】 (a) ~ (c) は、本発明の実施の形態2に係る分布屈折率レンズの屈折率分布を示す図である。

【図7】 本発明の実施の形態3に係る単位画素の基本構造を示す図である。

【図8】 (a) ~ (c) は、本発明の実施の形態3に係る分布屈折率レンズの屈折率分布を示す図である。

【図9】 (a) ~ (c) は、本発明の実施の形態3に係る分布屈折率レンズの集光特性(シミュレーション結果)を示す図である。

【図10】 本発明の実施の形態4に係る単位画素の基本構造を示す図である。

【図11】 本発明の実施の形態4に係る分布屈折率レンズの集光特性を示す図である。

。【図12】 (a) ~ (c) は、本発明の実施の形態5に係る固体撮像装置の基本構造を示す図である。

【図13】 本発明の実施の形態5に係る分布屈折率レンズの集光特性を示す図である。

。【図14】 (a) ~ (d) は、本発明の実施の形態1~5に係る固体撮像装置の製造工程を示す図である。

【図15】 従来の固体撮像装置の基本構造を示す図である。

【図 1 6】従来の画素配列の基本構造を示す図である。

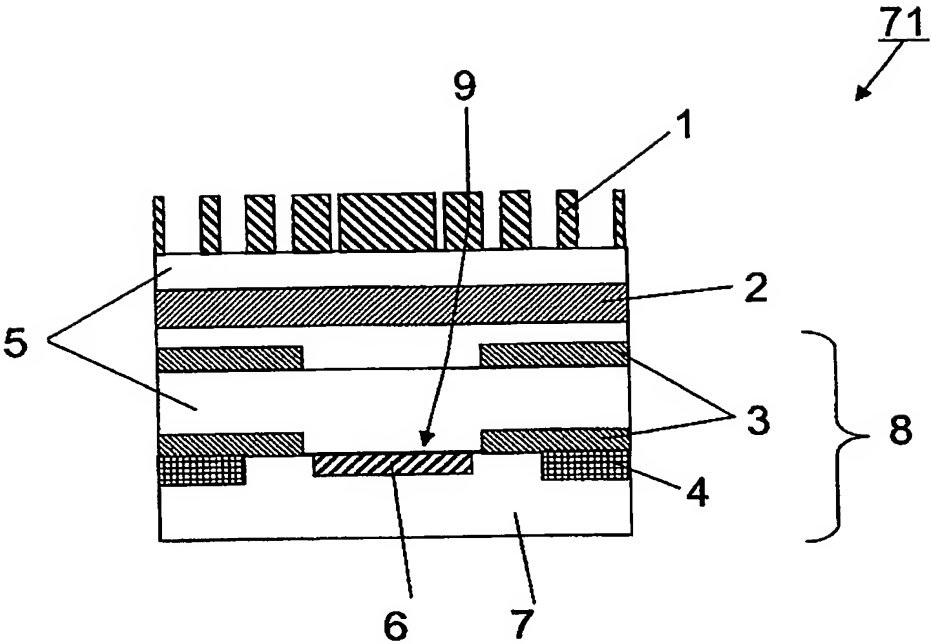
【図 1 7】従来の画素の基本構造を示す図である。

【符号の説明】

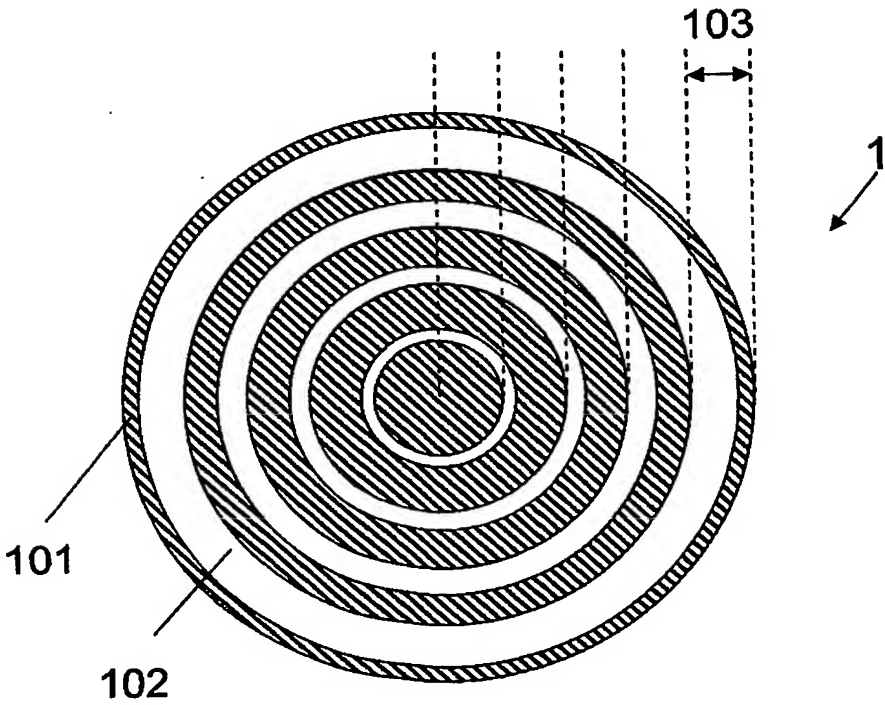
【0 0 5 8】

- 1、1 a、1 b 分布屈折率レンズ
- 2 カラーフィルタ
- 3 Al配線
- 4 電気信号伝送部
- 5 平坦化層
- 6 受光素子 (Si フォトダイオード)
- 7 Si基板
- 8 半導体集積回路
- 9、26 入射光
- 13 B 光用カラーフィルタ
- 14 G 光用カラーフィルタ
- 15 R 光用カラーフィルタ
- 16 B 光用レンズの屈折率分布
- 17 G 光用レンズの屈折率分布
- 18 R 光用レンズの屈折率分布
- 19 焦点距離
- 20 短焦点用レンズの屈折率分布
- 21 中焦点用レンズの屈折率分布
- 22 長焦点用レンズの屈折率分布
- 27 光学レンズ
- 28 固体撮像装置
- 29 中心部の画素用の分布屈折率レンズ
- 30 周辺部の画素用の分布屈折率レンズ
- 31 入射光 (中心部)
- 32 入射光 (周辺部)
- 33 マイクロレンズ
- 34 入射光 (斜め入射)
- 35 入射光 (垂直入射)
- 70~73、80 固体撮像装置
- 101 高屈折率材料 (TiO_2)
- 102 低屈折率材料 (空気)
- 103 隣り合うゾーンの半径差
- 104、104a、104 b 同心円の円周幅 (線幅)
- 105 B 光用分布屈折率レンズ
- 106 G 光用分布屈折率レンズ
- 107 R 光用分布屈折率レンズ
- 200 レジスト
- 201 TiO_2
- 202 金型
- 203 A r イオンミリング
- 204 ウェットエッチング

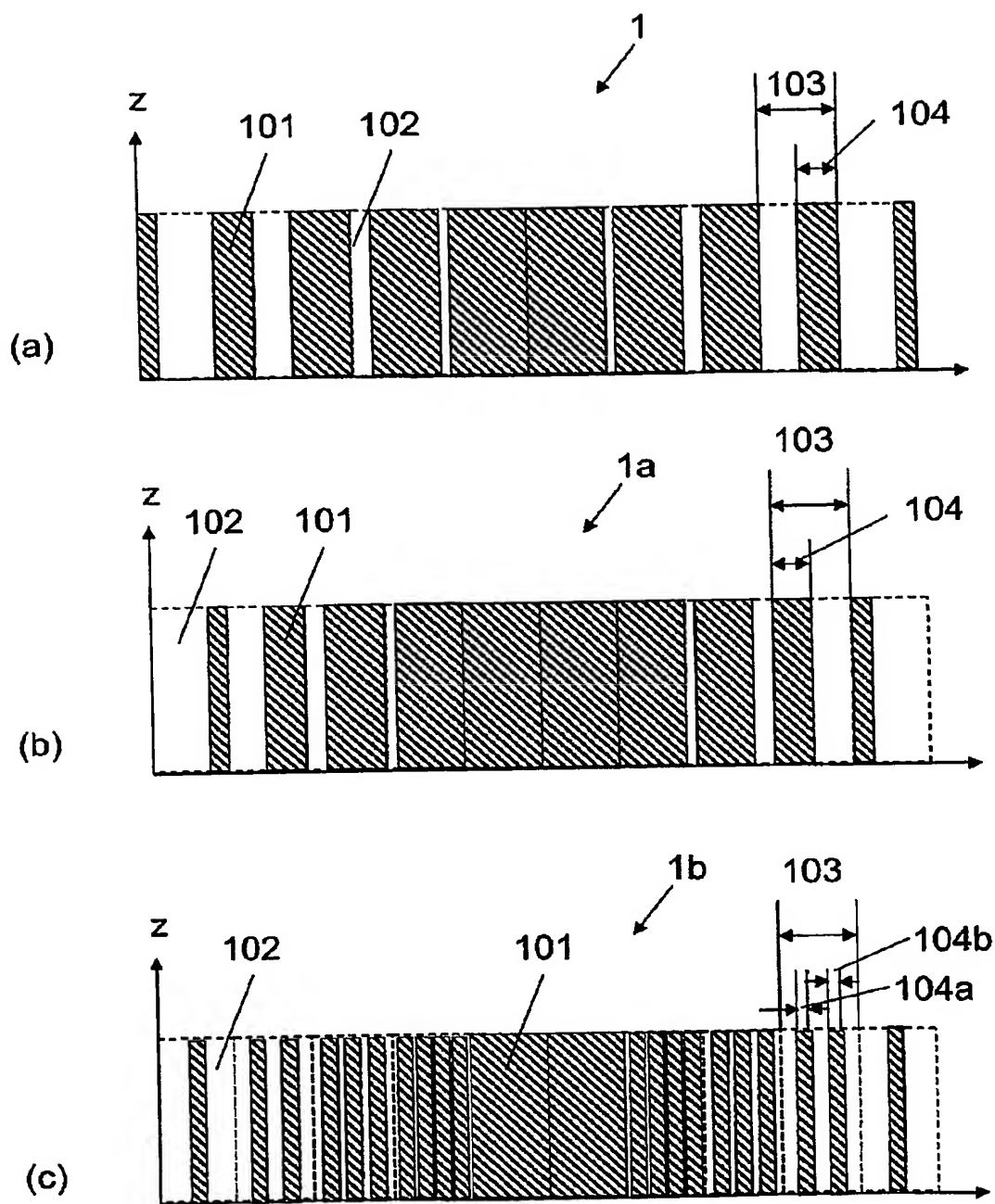
【書類名】 図面
【図1】



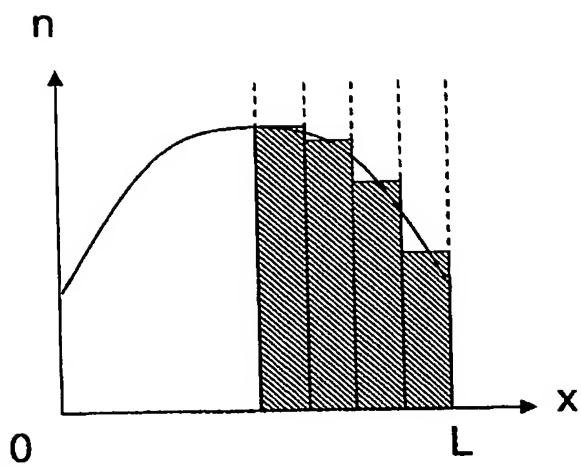
【図2】



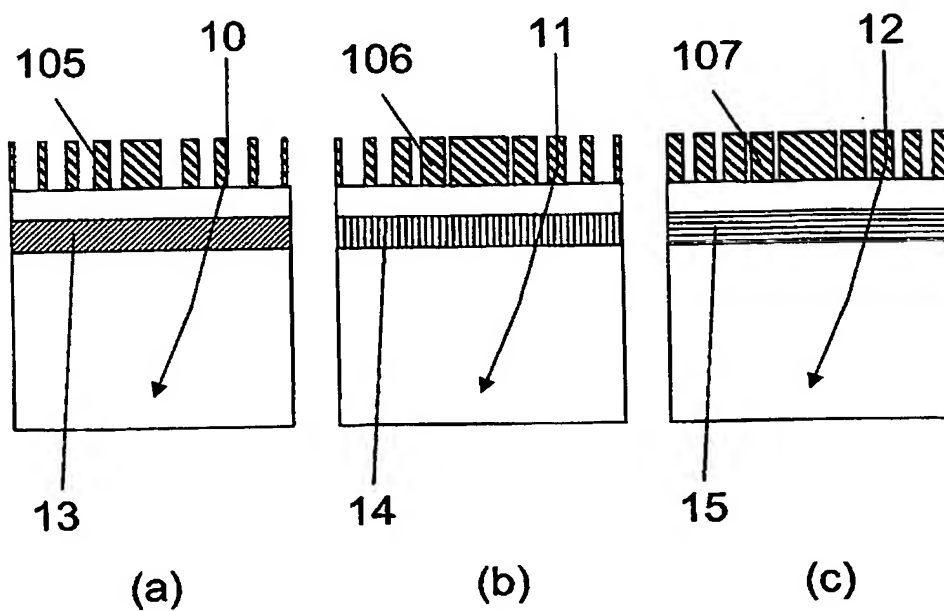
【図 3】



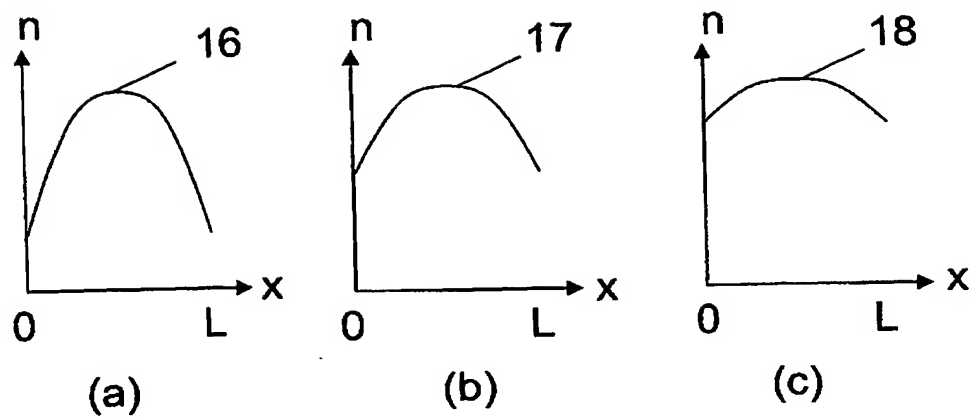
【図 4】



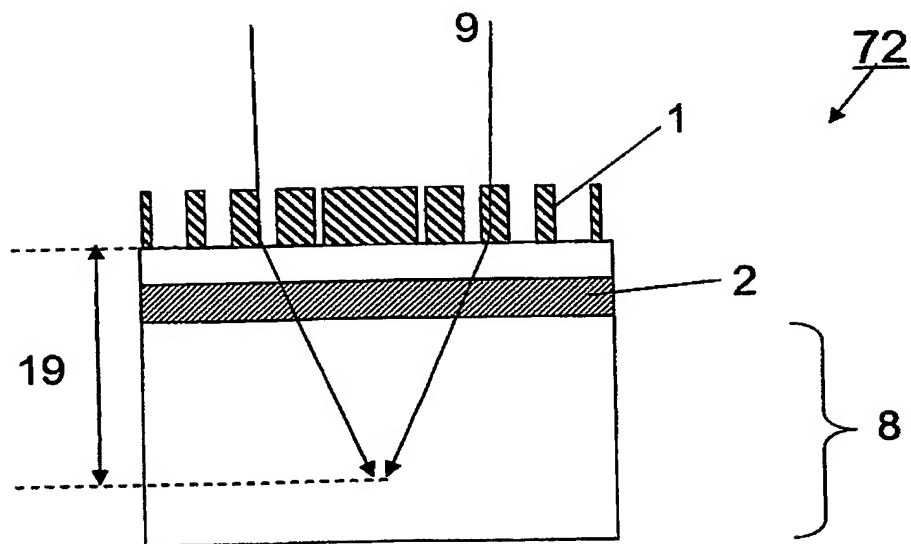
【図 5】



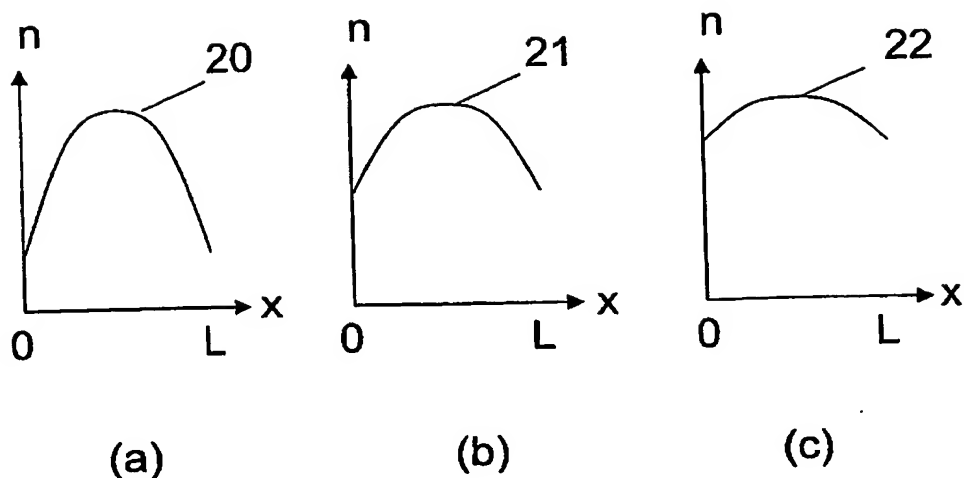
【図 6】



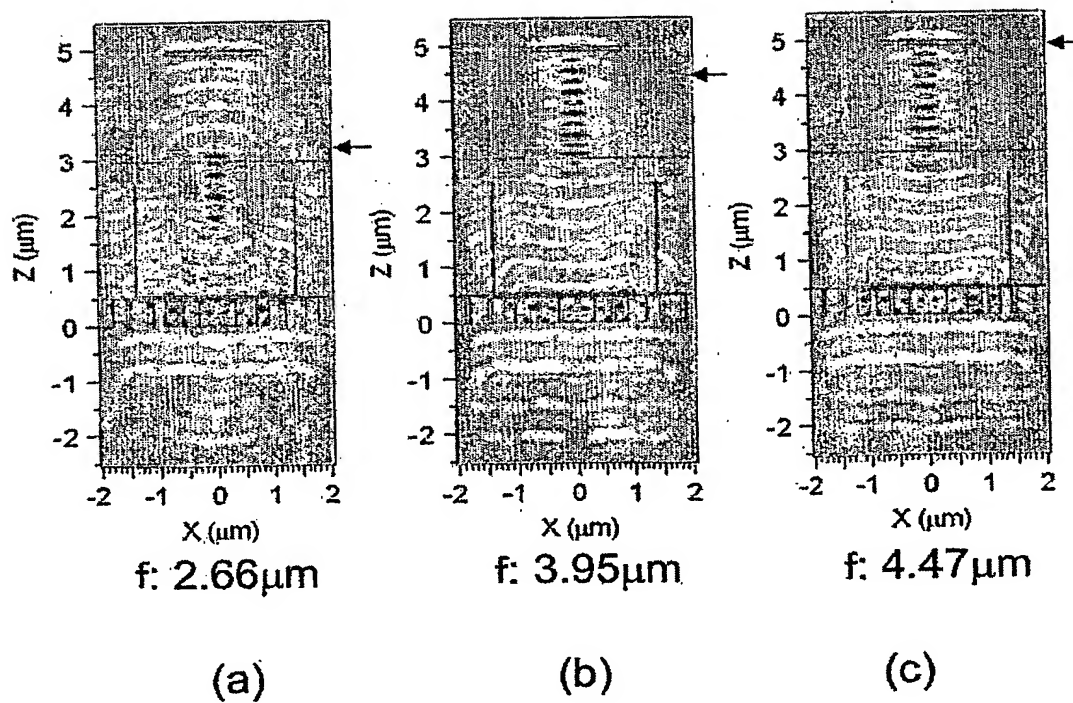
【図 7】



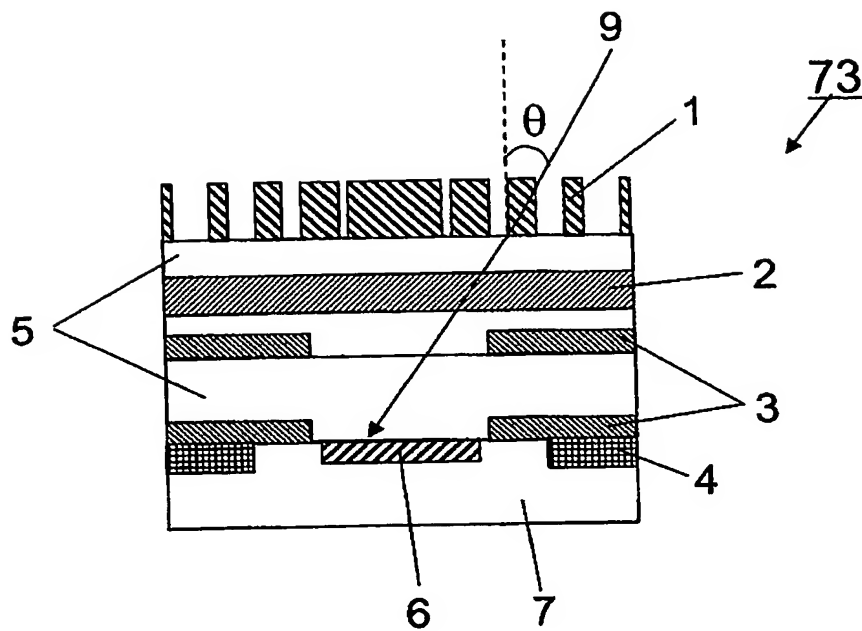
【図 8】



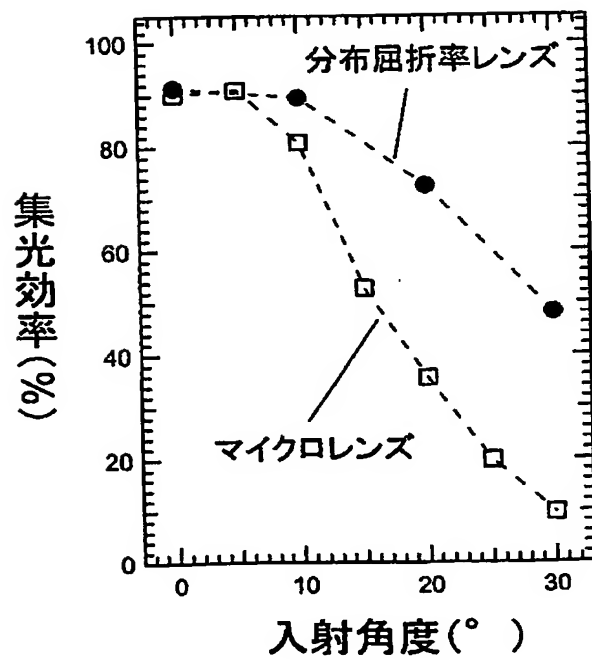
【図 9】



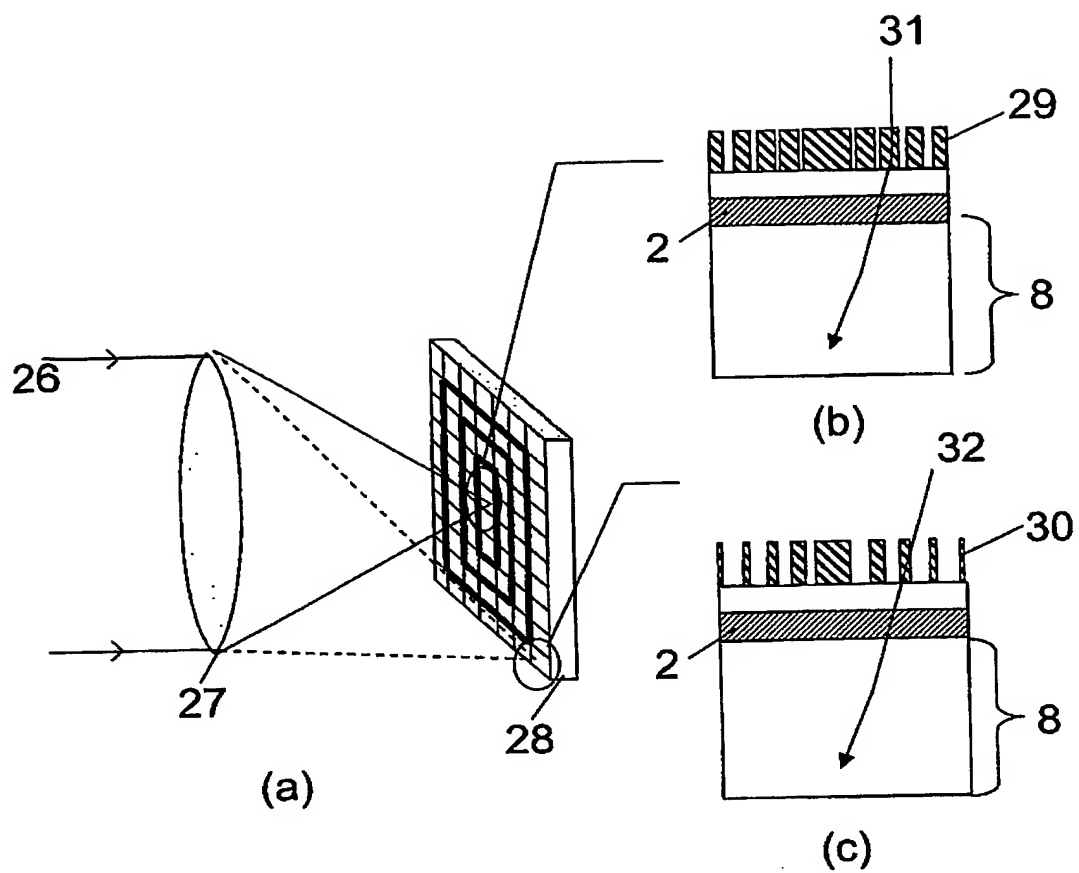
【図 10】



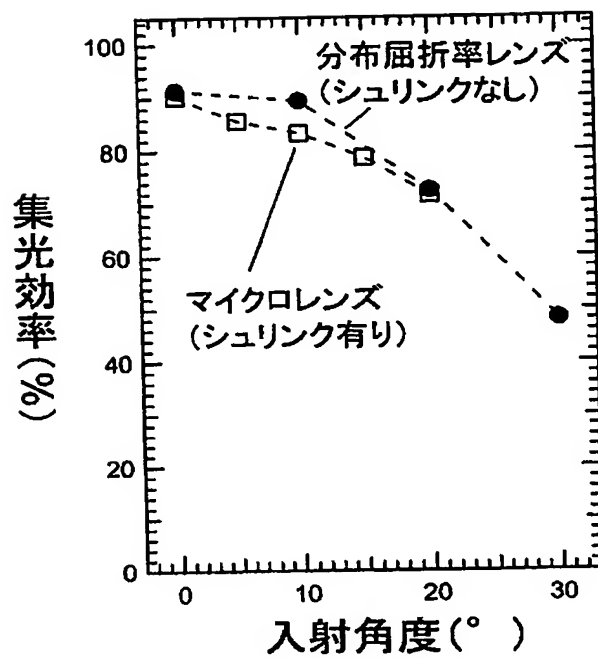
【図 11】



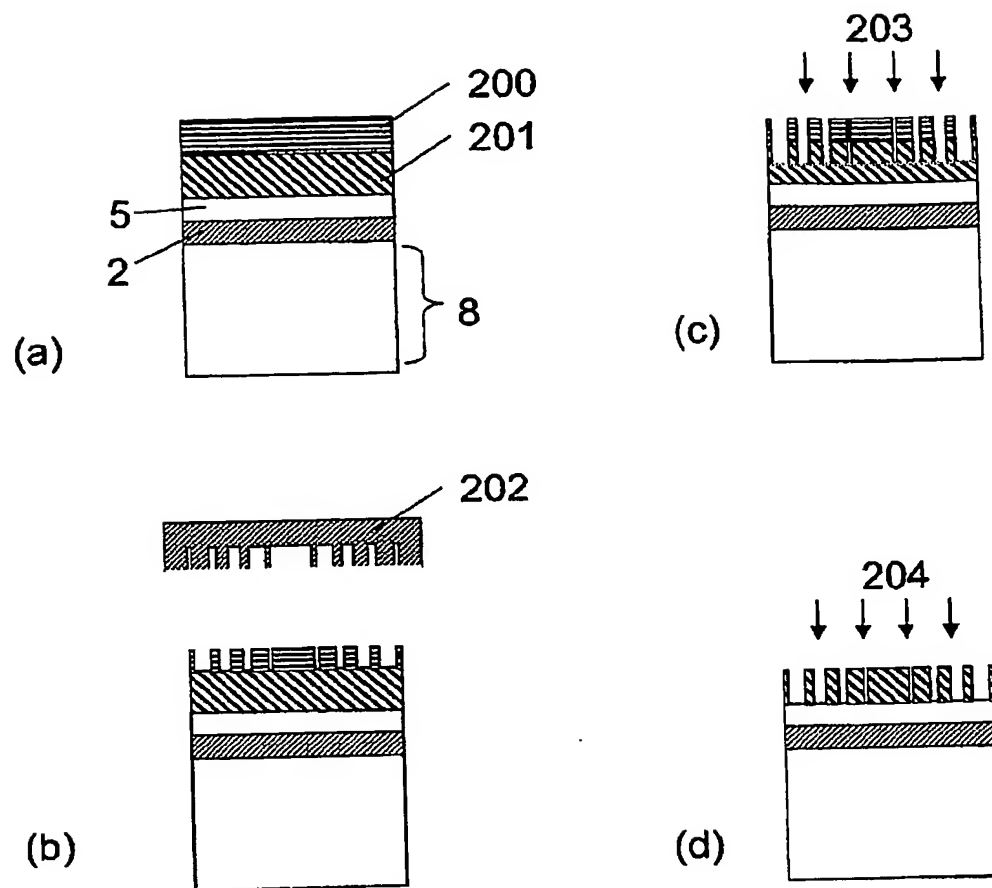
【図 12】



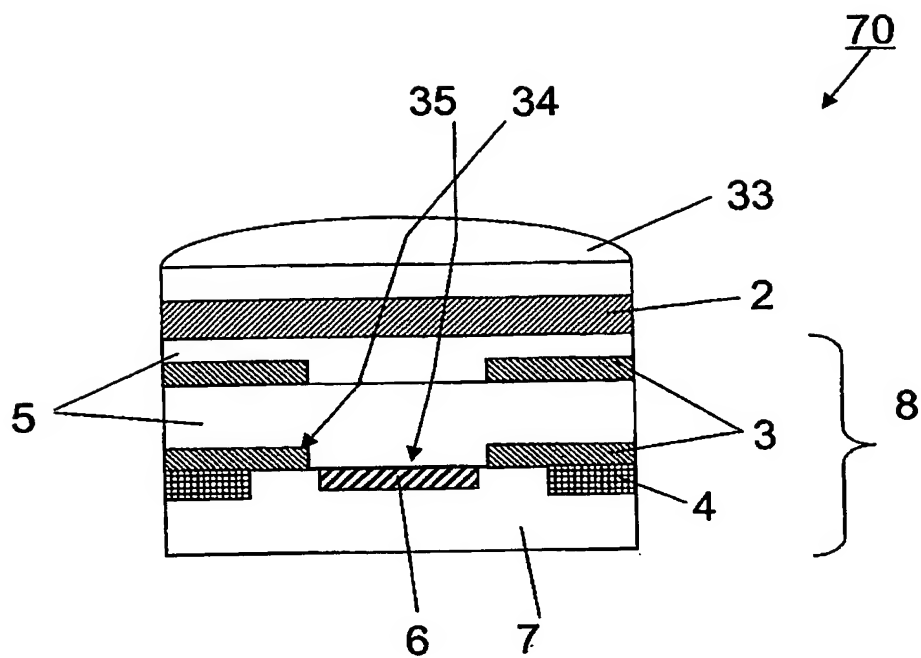
【図 13】



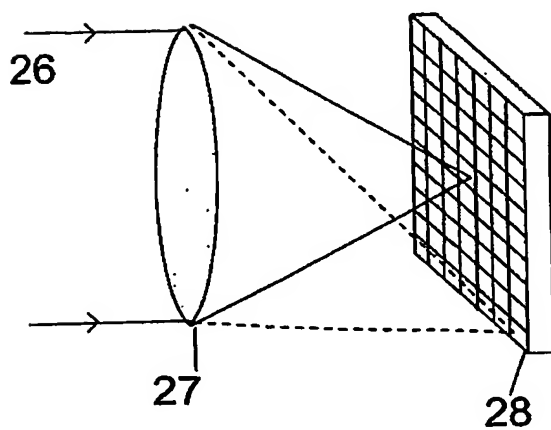
【図 14】



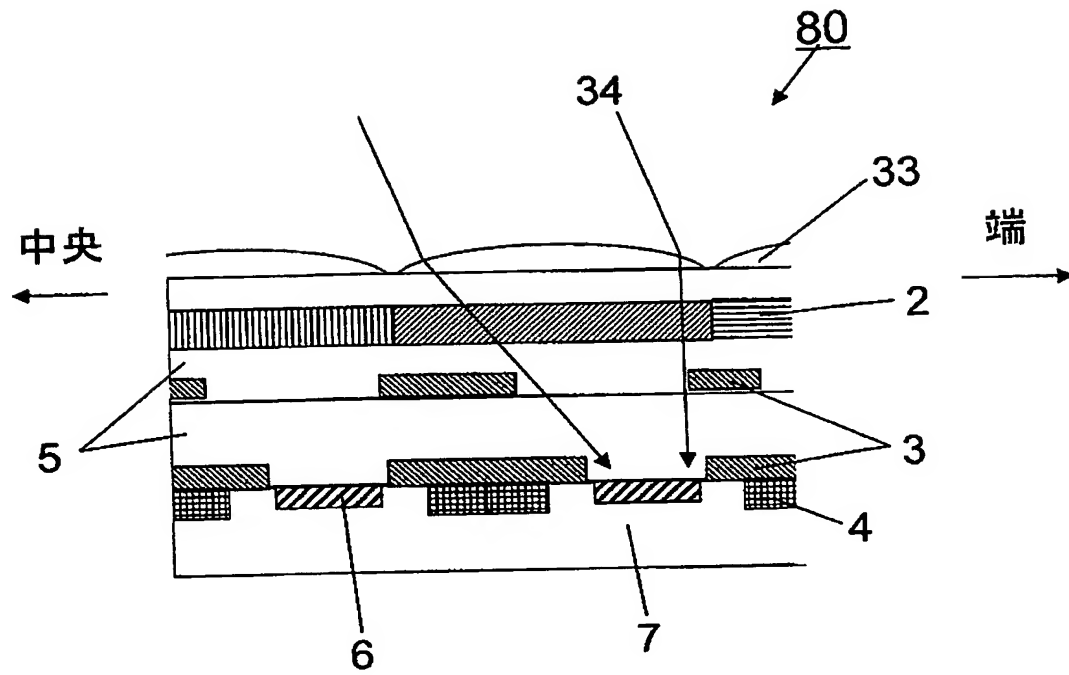
【図 15】



【図 16】



【図 17】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 マイクロレンズよりも高角度光入射に強い集光素子、それを用いた固体撮像装置、および、その集光素子の製造方法を提供する。

【解決手段】 面内方向に周期幅103が一定で分割された複数のゾーンごとに、周期幅103に対して線幅の合計の占める割合が互いに異なる、同心形状を有する光透過膜101を備える。各ゾーンにおいて、光透過膜101の外周／内周はゾーンの外周／内周と一致してもよい。各ゾーンにおいて、線幅の合計が、隣接する内側のゾーンの線幅の合計より小さい。同心形状は円であり、入射光の波長を λ 、焦点距離を f 、周期幅を a 、光透過膜の実効屈折率を n 、および、フレネルゾーン境界を r_m とすると、 r_m より大きく r_{m+1} より小さい r を内周の半径とするゾーン内の光透過膜の線幅の合計 W は、 $W=a(1+m-nr^2/(2\lambda f))$ を満たす。

【選択図】 図2

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2003-421111
受付番号	50302086759
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0094
作成日	平成15年12月19日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成15年12月18日
-------	-------------

特願 2 0 0 3 - 4 2 1 1 1 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 8 2 1]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 8 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地

氏 名

松下電器産業株式会社

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP04/018750

International filing date: 15 December 2004 (15.12.2004)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2003-421111
Filing date: 18 December 2003 (18.12.2003)

Date of receipt at the International Bureau: 17 February 2005 (17.02.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse